

Écran tactile acoustique

Travail préparatoire

PHS3910 – Techniques expérimentales et instrumentation

Équipe L3

Émile Guertin-Picard
2208363

Maxime Rouillon
2213291

Marie-Lou Dessureault
2211129

Philippine Beaubois
2211153

Résumé – Dans l’optique de développer un piano tactile fonctionnel, des simulations ont été effectuées sur MatLab à l’aide du module k-Wave afin d’optimiser certains paramètres (forme, matériau et position du capteur) du prototype à conceptualiser. Il a été conclu qu’une plaque asymétrique en plexiglas, ayant un capteur placé proche d’un de ses côtés, serait idéale pour maximiser le contraste et minimiser la résolution lors de la détection de signaux tactiles.

I. INTRODUCTION

Dans le cadre du cours PHS3910, l’équipe est mandatée de conceptualiser un piano tactile à l’aide du principe de retournement temporel. Avant de développer le produit final, il faut premièrement simuler le fonctionnement du piano à l’aide de l’outil k-Wave, afin de déterminer les caractéristiques qui optimiseront sa performance. En variant la forme, le matériau de la plaque ainsi que la position du capteur directement dans la simulation, une solution complète préliminaire peut être établie. Le choix de la solution finale est principalement basée sur les concepts de résolution et de contraste.

Les choix retenus suite aux tests de simulation sont les suivants : une plaque asymétrique avec trous, en plexiglas, avec un capteur situé proche d’un de ses côtés. Le rapport ci-présent détaillera la méthodologie utilisée afin d’obtenir une étude statistique de la résolution et du contraste en fonction des caractéristiques du piano, présentera les valeurs résultantes et leurs incertitudes respectives, et discutera des éléments pouvant être déduits de ceux-ci et implémentés dans la conception.

II. MÉTHODES

Étant donné que le problème à considérer est de trouver les paramètres optimaux à l’aide d’une simulation, les méthodes de simulations sont décrites en fonction des étapes importantes du programme MatLab utilisant le module K-Wave. Les formes des plaques considérées ont été choisies pour avoir un éventail de géométries (carré, forme asymétrique, avec et sans trous). Du plexiglas et de l’aluminium ont été testés pour déterminer l’impact du

milieu sur le contraste et la résolution. Les simulations se limitent à ces matériaux car ce sont ceux à disposition pour la construction du piano.

Pour étudier l’impact du matériau, de la géométrie et de la position du capteur individuellement, deux paramètres ont été fixés avant de faire varier le troisième. L’interdépendance entre les paramètres a été considérée comme négligeable dans les modèles.

Le signal $S_{ij}(t)$ obtenu à un récepteur à un point P_i a été modélisé comme la réponse impulsionnelle de la configuration (géométrie et matériau) à une impulsion d’une source à un endroit S_j . L’impulsion a été modélisée par un delta de Dirac δ qui est l’identité du produit de convolution. On a donc

$$S_{ij}(t) = (h_{P_i S_j} * \delta)(t) = h_{P_i S_j}(t).$$

Le signal obtenu était de la forme d’une onde se propageant dans le matériau. Or, cette équation admettait également comme solution $h_{P_j S_i}(-t)$. Ce retournement temporel revenait à parcourir le temps de façon opposée, ce qui impliquait également d’invertir les rôles de récepteur et d’émetteur. Pour chaque source, le signal au récepteur S_{ij} est devenu :

$$S_{ij}(t) = h_{P_j S_i}(-t).$$

Une fois la réponse impulsionnelle obtenue pour tous les emplacements désirés sur la plaque, les décalages entre les signaux ont été retirés en gardant seulement une fenêtre de la réponse impulsionnelle. Les signaux inversés et recadrés ont été stockés pour pouvoir s’y référer lors du calcul de la corrélation C_{ij} entre les réponses impulsionnelles de la source et de l’émetteur. Cette corrélation a été donnée par :

$$C_{ij}(t) = h_{P_i S_j}(t) * h_{P_j S_i}(-t).$$

Une bande d’intérêt sur la plaque a été choisie pour réduire le temps de calcul. Pour chaque point de la bande, la corrélation entre son signal et celui des autres points a été calculée en faisant un produit scalaire entre les vecteurs de chaque paires de signaux. Les signaux similaires obtiennent un gros score alors que les signaux différents ont une

faible corrélation. Un graphique 2D de la corrélation en fonction de la position sur la bande a été fait. Pour effectuer une analyse statistique de la résolution et du contraste, il a fallu faire correspondre une courbe gaussienne sur chaque graphique 2D obtenu. La largeur à mi-hauteur de la gaussienne a pu déterminer la résolution alors que la différence entre le maximum de la courbe et le niveau du bruit a pu déterminer le contraste. Les valeurs finales et leur incertitude respective découlent des impulsions choisies pour l'analyse statistique ; la moyenne et l'écart-type pour chaque variable sont calculées.

III. RÉSULTATS

Les géométries testées lors des simulations sont exemplifiées dans la figure 1. La ligne rouge sur chaque géométrie définit la bande d'intérêt des sources ; elle est positionnée sur l'axe où les touches du piano seraient placées pour un prototype.

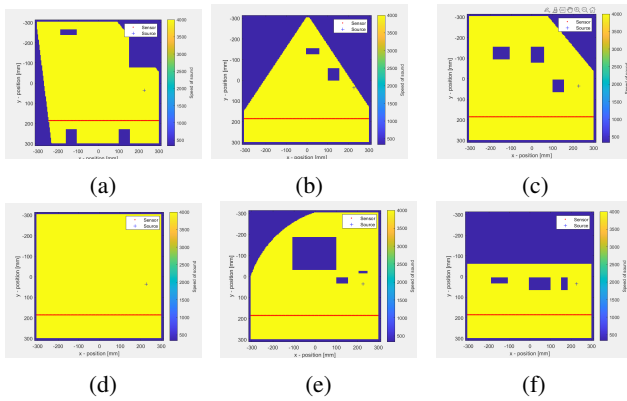


Figure 1 : Géométries considérées pour les simulations

Pour chaque géométrie, trois positions arbitraires pour le capteur ont été choisies, chacune étant associée à un ensemble de coordonnées. À titre de référence, la position (0,0) se situe en haut à gauche des grilles des figures 1a à 1f.

Tableau I – Résumé des résultats des simulations

Matériau	Géo-métrie	Position du capteur	Contraste	Résolution
Valeurs de contraste les plus élevées				
Plexiglas	(a)	100, 100	0.83 ± 0.01	8 ± 1
Plexiglas	(c)	20, 100	0.825 ± 0.008	7.7 ± 0.2
Plexiglas	(a)	50, 100	0.823 ± 0.006	8.4 ± 0.8
Valeurs de contraste les plus faibles				
Aluminium	(b)	25, 100	0.75 ± 0.02	15 ± 2
Aluminium	(e)	110, 170	0.76 ± 0.01	6.6 ± 0.5
Aluminium	(f)	100, 30	0.768 ± 0.006	12 ± 2
Valeurs de résolution les plus élevées				
Aluminium	(e)	110, 100	0.80 ± 0.01	15 ± 2
Aluminium	(b)	25, 100	0.75 ± 0.02	15 ± 2
Aluminium	(a)	100, 100	0.82 ± 0.02	15 ± 4
Valeurs de résolution les plus faibles				
Plexiglas	(e)	30, 100	0.803 ± 0.006	8 ± 1
Plexiglas	(c)	20, 100	0.825 ± 0.008	7.7 ± 0.2
Plexiglas	(a)	50, 100	0.823 ± 0.006	8.4 ± 0.8

En guise de résumé, les cas ayant les valeurs de contraste et de résolution les plus faibles et les plus élevées sont présentés dans le tableau I. Les valeurs de contraste et de résolution correspondent chacune à la moyenne de l'ensemble de données, et leur incertitude correspond à l'écart-type.

IV. DISCUSSION

À la suite d'un plus grand nombre de simulations, les indicateurs de performance considérés pour le choix des paramètres sont une résolution fine, donc une préférence pour les valeurs de résolution les plus faibles, et un contraste important, donc une préférence pour les valeurs de contraste les plus grandes. Avec ces considérations en tête, la configuration de la géométrie (c) en plexiglas avec le capteur en position (20,100) est celle retenue. Le choix de chaque paramètre a été effectué en comparant sa performance à celle des configurations similaires, c'est-à-dire en ne changeant que ce paramètre tout en gardant les autres constants, autant que possible.

Le premier paramètre à avoir été déterminé est le matériau. Pour ce paramètre, les performances de toutes les paires (géométrie, position du capteur) sont comparées comme montré au tableau II. Mise à part lorsqu'il y a des données aberrantes, le plexiglas est meilleur que l'aluminium sur toutes les paires testées. Ce résultat systématique ne laisse aucune ambiguïté quant au choix à faire, donc c'est l'aluminium qui est choisi.

Tableau II – Résultats des simulations pour la géométrie (a) à titre d'exemple

Matériau	Géo- métrie	Position du capteur	Contraste	Réso- lution
Valeurs de contraste les plus élevées				
Plexiglas	(a)	100, 100	0.83 ± 0.01	8 ± 1
Plexiglas	(a)	50, 25	0.82 ± 0.01	8.5 ± 0.5
Plexiglas	(a)	50, 100	0.823 ± 0.006	8.5 ± 0.8
Valeurs de contraste les plus faibles				
Aluminium	(a)	100, 100	0.82 ± 0.02	15 ± 4
Aluminium	(a)	50, 25	0.79 ± 0.01	10.9 ± 0.7
Aluminium	(a)	50, 100	0.813 ± 0.006	13 ± 1

Le deuxième paramètre déterminé est la géométrie. Ce paramètre ne permet pas la comparaison par paires puisque la position du capteur est différente pour chaque géométrie. Il est considéré que la position du capteur est un degré de liberté dont on dispose lors que la fabrication du dispositif. Dans ce contexte, les géométries sont comparées en fixant le matériau à du plexiglas, puisque ce choix est déjà réalisé, et en prenant la meilleure résolution et le meilleur contraste obtenus avec ce matériau. Les résultats obtenus pour ce paramètre sont mitigés, puisque les géométries (d) et (a) fournissent de les plus hauts contrastes mais des plus hautes résolutions, alors que les géométries (e) et (f) fournissent les plus hautes résolutions mais des plus bas contrastes. En observant les résultats en détail, on constate que le contraste varie entre 0,85 pour la meilleure géométrie et 0,80 pour la pire géométrie, alors que la résolution varie entre 6,0 mm pour la meilleure géométrie et 8,8 mm pour la pire géométrie. Même si la variation relative est plus grande pour la résolution, ces différences restent faible et même un duo de contraste de 0,8 et une résolution de 8,8 mm seraient satisfaisant. L'enjeu de la faisabilité a également été pris en compte pour trancher la question pour ce paramètre. La géométrie (c) avec un capteur en (20,100) a donc été choisie puisqu'elle atteint la troisième place du contraste et de la résolution, avec un contraste de $(0,825 \pm 0,009)$ et une résolution de $(7,7 \pm 0,2)\text{mm}$, tout en étant facile à réaliser. Les incertitudes relatives sur le contraste et la résolution sont d'environ respectivement 1% et 3%, ce qui est suffisamment faible pour considérer les résultats significatifs. On peut avoir confiance que des valeurs d'ordre similaires seront obtenues lors de la réalisation concrète.

Le troisième paramètre, la position du capteur, est déterminé conjointement avec la géométrie, donc le choix de la position (20, 100) se doit d'être respecté.

Il est important de mentionner que les simulations comportent plusieurs limitations. La première de ces limitations est qu'il n'y a aucune interférence de la table ou du support dans les simulations, ce qui peut être un angle mort de l'étude présentée. Comme il est probable que des pertes dans le signal soient occasionnées par ce contact, il est décidé de tester l'identification de signal avec et sans matériel isolant le piano de son support. Une autre

limitation à mentionner est que les trous dans le matériau ne pourront pas être de forme carrée comme dans la simulation à cause de contrainte d'usinage. Il faut garder en tête l'arrondissement des coins dans les causes potentielles d'erreurs lors de la fabrication et des tests du dispositif. Enfin, il n'a pas été possible de simuler avec succès les matériaux dont la densité est élevée. En effet, cette grande densité implique une vitesse du son trop élevée pour la simulation. Lors des tests, l'onde sortait du matériau, ce qui est un résultat non-physique dû au caractère discret des simulations. Cela implique qu'on n'a pas pu tester les métaux comme l'acier ou le laiton. Il a donc été décidé de ne pas essayer de faire un piano tactile avec ces matériaux, d'autant que la performance du plexiglas, a surpasser celle de l'aluminium, laissant penser qu'une plus forte densité ne se traduit pas en une meilleure performance.

D'ailleurs, ce n'est pas la seule situation où les simulations ont montrées leurs limites. Il y a eu plusieurs données aberrantes pour la géométrie (d) dû à la symétrie présente, ce qui a occasionné un deuxième pic de corrélation à la position miroir du bon emplacement. La géométrie (d) a donc été rejetée pour cette raison. Il y a eu d'autres pics d'amplitude secondaire pour certaines géométries, avec une prévalence dans l'aluminium. Les données obtenues lors de ces situations aberrantes ont été rejetées lors du choix des paramètres pour éviter toute contamination des résultats par les limitations des simulations.

Il faut rester vigilant dans la suite du projet par rapport aux symétries possibles même si la géométrie choisie devrait les avoir supprimés.